Predicting gel hardness, swelling degree, and pore diameter of glucomannan-based hydrogels using combination of Response Surface Methodology (RSM) and machine learning framework

Program Riset ITB – Riset Unggulan ITB Tahun 2026

William Xaveriano Waresindo[1,2], Aan Priyanto[1], Halida Rahmi Luthfianti[1], Nabila Asy Syifa[1], Riris Sukowati[1], Kamila Munna[1], Dhewa Edikresnha[1,3,], Dian Ahmad Hapidin[1], Akfiny Hasdi Aimon[1,4], Tri Suciati[5], Khairurrijal Khairurrijal[1,3,6,7*]**

[1]Kelompok Penelitian Fisika dan Teknologi Material Maju, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10, Bandung, 40132, Indonesia. [2]Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan dan Keguruan, Universitas Katolik Parahyangan, Jalan Ciumbuleuit No. 94, Bandung 40141, Jawa Barat, Indonesia. [3]Pusat Penelitian Biosains dan Bioteknologi, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10, Bandung, 40132, Indonesia. [4]Pusat Teknologi Transportasi Berkelanjutan Nasional (NCSTT), Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia. [5]Jurusan Farmasi, Sekolah Farmasi, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10, Bandung, 40132, Indonesia. [6]Jurusan Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Lampung, 35365, Indonesia. [7]Pusat Bahan Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Lampung, 35365, Indonesia.

***krijal@itb.ac.id ,**dhewa@itb.ac.id**

Latar Belakang

Hidrogel berbasis glukomanan memiliki potensi besar dalam aplikasi pangan dan biomedis karena sifat biokompatibilitas dan karakteristiknya yang dapat dimodifikasi. Penelitian ini menggabungkan *Box–Behnken Design (BBD)* dan *machine learning* untuk memprediksi pengaruh konsentrasi glukomanan, waktu pembekuan, dan siklus beku dan cair terhadap kekerasan gel, derajat pembengkakan, dan diameter pori. Model BBD menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9823; 0,9932; dan 0,9392 untuk ketiga parameter tersebut. Sementara itu, algoritma *Gradient Boosting* menunjukkan kinerja prediksi terbaik dengan nilai R^2 masing-masing 0,998; 0,955; dan 0,959. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi BBD dan *machine learning* efektif untuk mengoptimalkan karakteristik hidrogel glukomanan secara lebih akurat dan efisien, khususnya untuk aplikasi pangan dan biomedis.

Keyword: Glukomanan, Hidrogel, *Response Surface Methodology, Machine Learning.* .

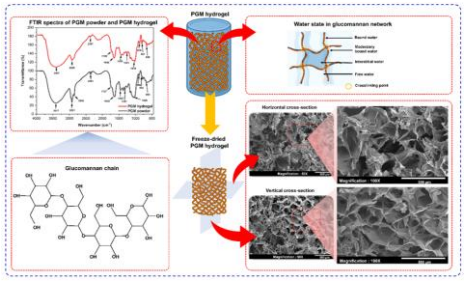
Tujuan dan Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan memprediksi kekerasan gel, derajat pembengkakan, dan diameter pori hidrogel glukomanan menggunakan integrasi *Response Surface Methodology* (RSM) dan *machine learning*.

Sebanyak 15 kombinasi eksperimen dirancang menggunakan Box–Behnken Design (BBD), dengan tiga variabel: konsentrasi glukomanan (3-10 wt.%), waktu pembekuan (12-48 jam), dan siklus beku-cair (1-5 kali). Sebanyak 45 data pengukuran digunakan untuk mengevaluasi tujuh algoritma *machine learning*.

Hasil dan Pembahasan

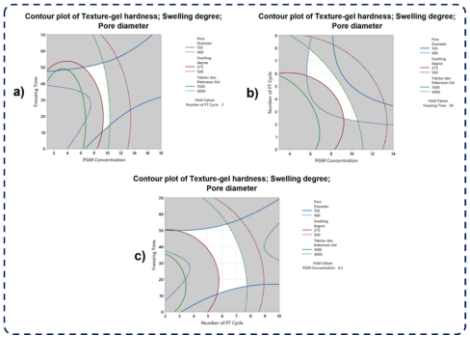
01 Karakteristik Hidrogel Glukomanan



Gambar 1. Struktur dan morfologi hidrogel PGM dengan ikatan silang fisik.

Proses beku–cair menghasilkan jaringan hidrogel tiga dimensi melalui ikatan silang fisik. Analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi ikatan hidrogen, sedangkan SEM memperlihatkan struktur pori anisotropik yang saling terhubung.

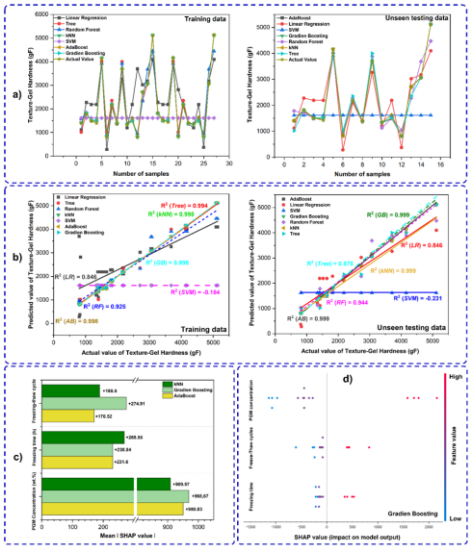
02 Optimasi Menggunakan RSM



Gambar 2. Grafik kontur optimasi multirespons hidrogel glukomanan berdasarkan variasi (a) konsentrasi PGM, (b) waktu pembekuan, dan (c) jumlah siklus beku-cair.

Model *Box-Behnken Design* (BBD) menunjukkan kesesuaian yang tinggi dalam memodelkan kekerasan gel (R^2 = 0,9823), derajat pembengkakan (R^2 = 0,9932), dan diameter pori (R^2 = 0,9392). Namun, nilai R^2 prediksi yang lebih rendah menunjukkan keterbatasan model dalam memprediksi data baru.

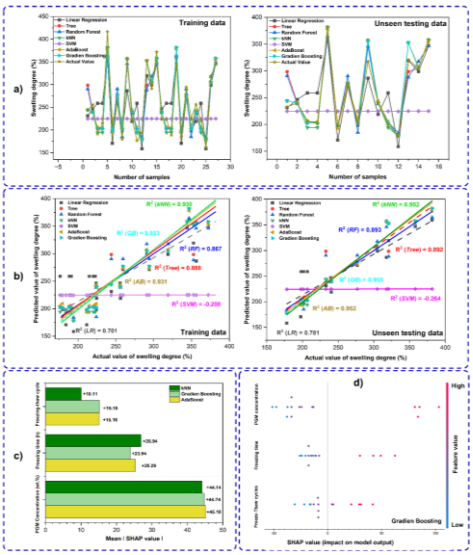
03 Prediksi Menggunakan Machine Learning



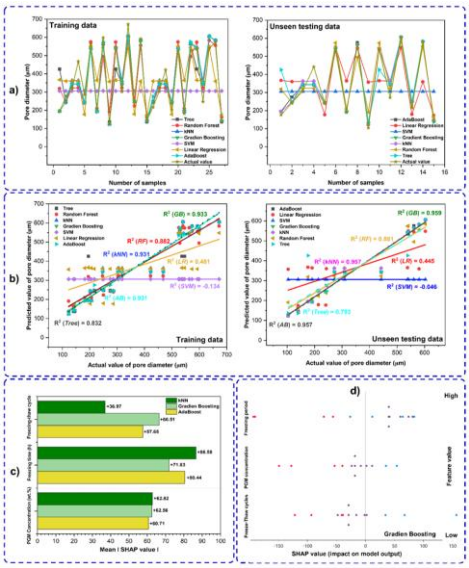
Gambar 3. Hasil prediksi machine learning dan analisis SHAP terhadap kekerasan gel hidrogel PGM.

Acknowledgement

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) melalui program **Riset Unggulan ITB Tahun Anggaran 2026**



Gambar 4. Hasil prediksi machine learning dan analisis SHAP terhadap derajat pembengkakan hidrogel PGM



Gambar 5. Hasil prediksi machine learning dan analisis SHAP terhadap diameter pori hidrogel PGM.

Algoritma Gradient Boosting menunjukkan akurasi prediksi yang tinggi terhadap kekerasan gel (R^2 = 0,998), derajat pembengkakan (R^2 = 0,955), dan diameter pori (R^2 = 0,959). Analisis SHAP mengidentifikasi kontribusi parameter sintesis terhadap ketiga karakteristik hidrogel glukomanan.

Kesimpulan

Integrasi RSM dan *machine learning* efektif dalam memprediksi karakteristik hidrogel glukomanan. Algoritma *Gradient Boosting* menunjukkan akurasi tertinggi sehingga berpotensi mendukung optimasi hidrogel untuk aplikasi pangan dan biomedis.